ANALYSE

DES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

ET DES

RECHERCHES INDUSTRIELLES

ANALYSE

DES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

ET DES

RECHERCHES INDUSTRIELLES

DE

M. ÉMILIO DAMOUR

Ingénieur civil des Mines,
Ancien Chef des Travaux chimiques à l'École des Mines,
Candidat a la Chaire de Chaux et Ciments, Céramique et Verrerie
au Conservatoire des Arts et Métiers.

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BERANGER, ÉDITEUR
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE
1905

INTRODUCTION

Les travaux scientifiques que j'ai été conduit à faire au cours de ma carrière scientifique et industrielle n'ont pas tous été publiés; ceux que j'ai effectués étant dans l'industrie n'ont eu le plus souvent qu'une sanction pratique, ayant conduit à des applications fructueuses, sans être traduits dans un mémoire ou une publication; ceux que j'ai poursuivis au cours de ma carrière scientifique et pédagogique ont en général été publiés, mais il en est d'encore inédits, et d'ailleurs, certaines lois générales à la démonstration desquelles tendent ces études n'ont pas encore été formulées, ces lois n'ayant été vérifiées que par les applications industrielles postérieures aux travaux originaux.

Le but du présent exposé est d'analyser ces travaux, énoncés dans mon précédent Programme et Exposé de titres, de mettre en lumière quelques vérités scientifiques intéressant les industries de la céramique et de la verrerie ou des chaux et ciments.

Je n'insisterai pas sur mes travaux antérieurs à ma sortie de l'École des Mines, bien que l'étude que j'ai publiée d'un traitement électrolytique des minerais de zinc ait été souvent consulté, notamment à l'étranger, bien que l'étude que j'ai donnée dans un de mes journaux de voyage des gîtes de sel du Cheshire ait été analysée et insérée dans le Traité de Fuchs et de Launay, bien qu'enfin mon journal de voyage métallurgique (plomb et fer) médaillé, fasse à ce titre partie de la Bibliothèque de l'École des Mines. Ces divers travaux ne concernent pas en effet les industries des chaux et ciments céramique et verrerie, sauf pour les ciments de laitier dont l'usage

était très répandu dès 1886 dans le Cumberland et dont j'ai étudié la fabrication à ses débuts[1].

J'analyserai au contraire tous mes travaux postérieurs à ma sortie de l'École, parce qu'entré dans l'industrie verrière, aussitôt après l'obtention de mon brevet d'ingénieur, je n'ai cessé de m'occuper constamment de verrerie et de céramique, de sorte que mes recherches et travaux scientifiques se rapportent presque tous aux industries du Cours.

En 1898, lors de la candidature à la Chaire de Chimie Industrielle (succession du cours Aimé Girard), j'ai présenté une Analyse de mes travaux scientifiques et j'ai eu l'honneur d'être classé en seconde ligne par le Conseil de Perfectionnement.

Beaucoup de recherches alors en cours ont été continuées et complétées depuis. C'est ce qui rend nécessaire une nouvelle analyse de ces travaux.

[1] Je dois également dire quelques mots d'une étude sur les hauts fourneaux d'Écosse, publiée dans le même journal et qui présente un intérêt spécial d'actualité, par suite du développement qu'a pris la question d'utilisation du gaz de hauts fourneaux. En Ecosse où la métallurgie peut employer des combustibles crus, les hauts fourneaux de Gartsherric faisaient dès 1886 une épuration très parfaite des gaz du gueulard, recueillant les goudrons et les produits ammoniacaux, lavant leur gaz de façon à le rendre particulièrement apte à son emploi dans les moteurs à gaz.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

ET

RECHERCHES INDUSTRIELLES

De M. Emilio DAMOUR

---

§ 1. — Travaux d'ingénieur de verrerie (1887-1892)

1° Analyses et essais industriels des verres. — Chargé du laboratoire de la Verrerie de Folembray, mon premier soin fut d'organiser une méthode d'essai rapide et rigoureuse du verre, remplaçant les essais de sables de matières premières précédemment en usage.

La raison d'être de ce nouveau mode d'essai était le changement survenu dans la fusion, par la substitution du four à bassin aux anciens fours à creusets. Dans un four à bassin, la quantité de verre fondu étant considérable, 150 000 à 500 000 kilogrammes de verre, tandis que la consommation quotidienne n'est que du 1/10 au 1/20, la masse de verre fondu et le retour des déchets de fabrication forment volants de composition chimique, suffisant pour que les variations à l'ouvreau se fassent de façon très lente, quelles que soient les différences des lits de fusion, différences souvent très grandes dans les verreries à bouteilles utilisant les sables locaux.

Il en résulte qu'il suffit de suivre exactement au jour le jour les variations du verre, et suivant la courbe de variations, de modifier en sens inverse le lit de fusion, pour assurer une composition régulière avec des sables irréguliers. Il peut en résulter une sérieuse économie.

Le contrôle fréquent de la composition du verre permet encore de discerner à coup sûr si les accidents éventuels de fabrication

proviennent du verre, ou de la conduite du four, sujet fréquent d'embarras ou de conflit entre deux contremaîtres.

De là l'intérêt de l'analyse rapide et précise.

La méthode la plus rigoureuse d'analyse des verres est celle de Sainte-Claire Deville ; la seule objection industrielle qu'on puisse lui faire est d'être un peu lente entre les mains de qui ne la pratique pas fréquemment.

Je me suis attaché à la rendre assez rapide pour qu'elle soit industrielle, et depuis l'étude que j'en ai faite, elle fournit un dosage quotidien de la silice et des analyses répétées de toutes les bases, alcalis compris.

A cet effet, j'ai étudié chacune des étapes de la méthode Deville. — Pour l'attaque par fusion de verre. emploi du chalumeau Schlœsing (ou de la lampe-forge Deville, lorsqu'on n'a pas de gaz comme cela est fréquent dans les verreries), emploi d'un creuset très petit, à peine 3 centimètres cubes, s'échauffant très rapidement et permettant la fusion en moins de cinq minutes. — Pour l'attaque à l'acide nitrique du verre calcaire, détermination de l'acidité assurant une dissolution complète de la silice. — Pour l'évaporation de la silice en gelée, fixation de la température de l'étuve permettant la dessiccation sans projection, dans le temps minimum (5 à 6 heures), emploi de capsules plates en porcelaine de Berlin. — Pour la reprise à l'acide, emploi de l'acide chlorhydrique concentré, puis de plus en plus étendu, lorsqu'on veut doser la silice seule, application pure et simple de la méthode Deville par l'azotate d'ammoniaque lorsqu'on fera l'analyse complète. — Pour le dosage de la silice, précautions dans le lavage pour éviter les pertes de cette substance adhérant à la porcelaine mouillée aussi bien que sèche et pouvant atteindre facilement 1 p. 100; précautions dans la pesée de la silice sèche qui peut être faite sans dessiccateur, malgré la très grande hygrométricité de la silice amorphe, en ayant soin de faire la lecture de la pesée au moment où les oscillations présentent un palier correspondant à l'instant où le creuset a cessé de se refroidir sans que la silice ait commencé à s'hydrater.

Pour la suite de l'analyse, je m'en suis toujours rapporté à la tradition que j'avais reçue de mon grand-père et à la description

très complète de la méthode Deville donnée dans le livre de M. Grandeau : je dose ensemble le fer et l'alumine et le fer seul par le permanganate ; ce dernier dosage peut se faire aisément, aussitôt après attaque du verre, dans la première dissolution sulfurique ou chlorhydrique contenant la silice dissoute.

Ces divers tours de main m'ont permis de raccourcir la méthode, et je suis arrivé à confier l'essai quotidien de silice à un simple préparateur (devenu depuis chimiste et ingénieur) dont je puis certifier les dosages à $\frac{2}{1000}$ près ; le résultat d'essai est fourni environ douze heures après la prise d'essai, ce qui est suffisant dans la pratique industrielle.

J'ai fait personnellement un assez grand nombre d'analyses de verres dont les plus intéressantes sont : verre à bouteilles magnésien, verre à bouteille non magnésien, verre de glacerie, verre à vitre, verre de gobeletterie, verre de gobeletterie anglais très alcalin pour la fabrication au moule Ashley, cristal de Baccarat, etc.

Les observations générales auxquelles m'ont conduit ces analyses et ces essais répétés peuvent se résumer ainsi.

Les verres industriels, et même ceux destinés aux mêmes usages, fondus et travaillés à une même température, peuvent présenter des différences de composition chimique très grandes, quand, par exemple, on passe de la potasse à la soude ou qu'on fait intervenir ou disparaître un élément, magnésie ou alumine.

Mais autour d'une composition donnée et pour un travail donné, dans une même usine par exemple, les propriétés de travail du verre varient avec une sensibilité extrême avec la composition : pour une teneur constante en alcalis, un écart de 5/1000 dans la teneur en silice est apprécié par le verrier souffleur, un écart de 1/100 en moins peut rendre le verre galleux (cristallisations de wollastonite), tandis que 1/100 en plus le rendra cordé, c'est-à-dire impropre au travail.

De là l'intérêt d'une méthode précise de dosage des verres ; de là l'importance que j'ai attribuée à cette question.

2° Étude des verres par synthèse par variations insensibles autour

de la composition normale. — J'ai profité de la dernière campagne de fours à pots, pour étudier l'influence de la composition chimique sur la propriété du verre à bouteille et notamment sur la solidité ou résistance à la rupture.

J'ai suivi l'étude, élément par élément, ou plus exactement par éléments conjugués, silice et chaux, silice et alcalis, chaux et magnésie, chaux et alumine, et par modifications insensibles, de façon que le travail ne fût jamais interrompu.

Les variations ont oscillé entre les limites ci-dessous :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis
60 à 64	4 à 2	2 à 3	24 à 20	5 à 3,5	4,5 à 5,5

Les compositions calculées ont toutes été vérifiées en ce qui concerne la silice, à titre de garantie des essais, par un dosage direct.

Les conditions de travail ont été soigneusement notées ainsi que les défauts apparents, galle ou corde, qui furent limités à un pourcentage faible. La résistance était mesurée par un essai à la rupture portant chaque jour sur une dizaine de bouteilles de même poids et de même contenance.

Les conclusions générales de ce travail poursuivi pendant six semaines ont été les suivantes.

L'accroissement de la teneur en chaux donne des verres liquides, difficiles à travailler, très fragiles (certains ont donné des ruptures à 4 et 5 atmosphères), souvent galleux.

L'accroissement de la silice donne du verre dur, cordé, également difficile à travailler, mais très résistant, à cassure étoilée, caractéristique de la ténacité.

L'accroissement de la soude rend le verre gras, c'est-à-dire plus plastique; par contre la teneur élevée en alcali augmente le palier de fusibilité et peut exposer à des accidents de recuit par affaissement ou recollement, elle ralentit le travail des verriers.

La substitution de 1 p. 100 de chaux à 1 p. 100 de magnésie donne un verre galleux et fragile. La magnésie, dont le rôle utile a été contesté par plusieurs auteurs, est donc au contraire un élément presque indispensable, assurant la bonne qualité des verres communs à basse teneur en alcalis.

L'addition d'une petite quantité d'alumine remplaçant un poids égal de chaux augmente la ténacité[1].

L'oxyde de fer, en dehors de son rôle colorant qui en limite l'emploi à une teneur imposée, inférieure en général à 3 p. 100, a un rôle analogue à celui de l'alumine, avec la différence intéressante qu'il agit comme fondant et permet d'abaisser à 4 p. 100 la teneur en soude dans les verres très foncés.

La composition actuelle du verre à bouteilles de la Verrerie de Folembray, aujourd'hui classée en première ligne de la fabrication champenoise, a été la conclusion pratique de ces études.

Une conclusion plus générale encore pourrait en être déduite et nous paraît intéressante à signaler ici. C'est la composition du verre de prix de revient minimum destiné aux applications de plus en plus nombreuses du verre à l'électricité (coussinets ou traverses).

Nous pensons que la composition suivante :

SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	NaO
62,5	3,5	3,5	22	5	4,5

présentera toutes garanties au point de vue de son travail comme à celui de ses qualités d'usage électrique : inaltérabilité, mauvaise conductibilité superficielle.

Elle pourrait presque toujours être réalisée avec les ressources locales et composée de sables de carrière d'une valeur de 3 à 4 francs la tonne. Dans ces conditions, le prix de revient serait :

Matières premières, sables . .	1 350 kg.	à 4 fr. =	5 fr. 40
Sulfate de soude	105 kg.	à 60 fr. =	6 fr. 30
Charbon.	700 kg.	à 18 fr. =	12 fr. 60
Soit un total de . . .			24 fr. 30

prix inférieur au prix de revient de la porcelaine ou du verre de glacerie.

3° Reconstitution d'un verre donné par analyse et synthèse. — La reconstitution d'un verre donné, par exemple notre verre de

[1] Nous voulons parler de teneurs de 1 à 3 p. 100. Lorsqu'au contraire un verre atteint les dosages de 5 à 12 p. 100 d'alumine comme cela se pratique dans beaucoup de verreries de la Loire et du Centre, il perd ses qualités de résistance et ténacité.

prix minimum, au moyen de matières premières complexes contenant toutes ou plusieurs substances entrant dans la composition du verre, et dont on a préalablement fait les analyses, se ramène à la résolution d'un système d'équations du premier degré à plusieurs inconnues, problème d'algèbre qui effraye parfois les industriels quand le verre est à cinq ou six bases et quand les matières premières sont également complexes. Il en résulte que dans beaucoup d'usines on se contente de faire les corrections aux verres existants, par addition de produits purs (craie ou sable de Fontainebleau), et que l'on évite tout remaniement d'ensemble, tout changement de la provenance des sables, sans se soucier des économies de matière première. De là le double danger, et de se maintenir dans une composition qui n'est pas toujours la meilleure pour le travail du verre, et d'exagérer les dépenses d'achat.

Or, en faisant à diverses reprises sur des verres différents, des remaniements de lits de fusion dans le seul but d'économiser quelques centimes sur le prix de revient, j'ai constaté que, dans la plupart des cas, le problème se simplifie et se ramène à la solution de deux équations à deux inconnues. On peut éliminer du calcul les alcalis introduits par des sels presque purs ; la magnésie n'existant souvent que dans un seul sable en donnera d'emblée le dosage ; il en sera de même souvent pour le fer qui indiquera le poids du sable le plus ferrugineux dont on dispose, et pour l'alumine ; et il restera en dernière analyse deux équations dont les coefficients seront la silice et la chaux et les inconnues deux sables, l'un siliceux et peu calcaire, l'autre calcaire et peu siliceux qui compléteront les données des lits de fusion.

Les calculs sont donc fort simples ; les analyses de sables étant d'ailleurs aussi faciles que rapides, il y a là une méthode que je puis recommander, car à l'usage elle ne m'a jamais donné de mécomptes, malgré les préventions de vieux fondeurs habitués à certains sables soigneusement emmagasinés en grands tas dans l'usine, et ne peut jamais, je crois, en donner.

Cette méthode complète les connaissances chimiques sur la composition du verre nécessaires en verrerie, au moins en ce qui concerne les verres exclusivement siliceux et alcalins terreux.

4° Mesure industrielle des températures. Son application à l'étude de la fusion du verre et du recuit. — La question de la mesure industrielle des températures est celle que j'ai été nécessairement conduit à aborder dès que la question chimique fut résolue ; un verre de composition normale n'est en effet bon que s'il est bien fondu et affiné et bien recuit.

Pour étudier ces deux facteurs de la fabrication il fallait un instrument de mesure précis.

Après avoir examiné successivement les méthodes en usage en 1887, celles essayées à Sèvres par M. Lauth, celle basée sur la calorimétrie, enfin la méthode thermo-électrique, je me suis arrêté à cette dernière et je tiens ici à remercier M. Le Châtelier qui vint faire les premières mesures à la Verrerie de Folembray, aux portes du four, dans les chambres de récupération, dans les fours à recuire. Il ne restait plus qu'à adapter à l'industrie spéciale dont j'avais charge le pyromètre Le Châtelier, et à en faire une installation permanente permettant un contrôle régulier de tous les appareils.

Cette installation qui fut, je crois, la première appliquée dans la grande industrie, est complètement décrite dans mon mémoire de novembre 1889 (*Bull. de l'Assoc. amicale des anciens élèves de l'École des Mines*) : sa principale particularité, en dehors du soin avec lequel fut établi le réseau de fils conducteurs, de façon à calculer la résistance du circuit extérieur et faire des lectures comparables à 10° dans différents fours, consistait dans l'emploi d'une canne de 3,50 m. de longueur permettant d'atteindre le fond des fours à recuire et le milieu des fours à bassin.

L'appareil est entré tellement dans la pratique courante que, les chauffeurs de carcaises (fours à recuire) réclamaient eux-mêmes la vérification de leur four avant d'y admettre les bouteilles, toutes les fois qu'ils hésitaient dans l'appréciation si délicate à l'œil, du rouge sombre.

Au point de vue du recuit, les résultats ne se sont pas fait attendre. J'ai d'abord fixé empiriquement la température la plus favorable au bon recuit, résultat qui s'est trouvé confirmé pleinement par les essais de trempe et recuit de M. Grenet (615°) et organisé la mesure de chaque carcaise au début et à la fin du travail.

Depuis lors, l'emploi du pyromètre complété par une méthode de contrôle du bon recuit, ont permis l'application de la carcaise continue aux fabrications les plus difficiles, et comme dernière conséquence, permettront prochainement l'emploi du porteur mécanique remplaçant le travail des enfants, transporteur qui n'est applicable qu'aux carcaises continues.

J'indique ici ces derniers progrès auxquels j'ai été étranger, non pour m'en attribuer le mérite, mais pour signaler combien la constitution d'un outillage scientifique dans une usine et l'existence d'un laboratoire tel que je l'ai organisé, peut avoir des conséquences éloignées et fructueuses ; je crois que la verrerie où il m'a été donné de débuter peut à cet égard être donnée en exemple et je serais heureux qu'elle fût consultée à ce sujet.

Au point de vue de la fusion du verre, le pyromètre m'a permis de mesurer et de contrôler de temps en temps la température du four à bassin (1430 à 1450°) et plus fréquemment la température des chambres de récupération. Je me suis également servi du pyromètre photométrique et de la lunette Mesuré et Noüel. L'usage répété de ces instruments et les variations qu'ils me permirent de constater m'ont conduit à suivre de plus près la marche des fours et la combustion, de façon à régulariser ce facteur essentiel de la production. C'est de ce côté qu'ont porté nos efforts en 1889 et 1890.

5° Contrôle scientifique de la marche des fours. Étude de la combustion. Diagnostic des accidents de fours. — Le diagnostic des accidents de fabrication provenant des fours, basé sur l'étude raisonnée de la combustion et de l'utilisation de la chaleur et sur le contrôle scientifique de cette combustion, complètent le cycle des connaissances nécessaires à l'ingénieur chargé d'une fabrication. Il ne suffit pas de constater avec un pyromètre précis qu'un four s'est refroidi, il faut trouver pourquoi il s'est refroidi et indiquer le remède. Il est encore mieux d'éviter qu'il se refroidisse jamais et de prévoir les accidents, en assurant la régularité dans la fusion comme on l'a déjà vu faire dans la composition de la matière.

La méthode que j'ai adoptée a été plusieurs fois décrite, dans les

Annales du Conservatoire des Arts et Métiers et plus spécialement encore au cours de la Conférence faite à la Sorbonne sur le rôle de la science et de la chimie dans la conduite des fours. Je ne la rappellerai donc que succinctement :

Pour arriver à établir avec une certitude presque complète la cause d'un arrêt momentané de four, ou les vices de construction d'un appareil qui ne donne pas la température ou les résultats promis, on suivra les étapes suivantes :

1° Analyse des fumées par dosage de l'air ou de l'oxyde de carbone, suivi d'une correction de l'admission d'air, pour ramener la combustion à peu près à l'atmosphère neutre ;

2° Examen de l'admission de gaz et des causes qui peuvent agir sur cette admission, ouverture des vannes, température des carneaux ou chambres de récupération ayant action sur le tirage, température du gaz ;

3° Vérification de la température de l'air sortant du récupérateur ;

4° Analyse du gaz, d'abord pour oxyde de carbone et acide carbonique, dont le rapport donnera en général une indication suffisante et signalera les négligences des gaziers, puis avec dosage de l'hydrogène et du méthane, lorsque, le premier essai ne donnant pas d'indication, on se trouvera en face d'un accident de four par insuffisance de chauffage prolongé ;

5° Analyse de la houille. Ce dernier essai n'est en général pas nécessaire et ne s'applique qu'aux cas d'allure paresseuse d'un four ne se justifiant et ne s'expliquant par aucun des essais précédents.

La méthode qui précède avec ses cinq étapes successives est le guide à peu près infaillible de la conduite d'un four et je pourrais citer plusieurs usines où, sur mes indications, elle est appliquée à tous les fours en marche, à titre de contrôle permanent.

Elle peut encore servir de critérium de la valeur d'un four, car on peut dire qu'un appareil dont la marche a été redressée suivant ces principes et dont le fonctionnement ne répond pas au but et à la température pour lesquels il est construit, est à coup sûr défectueux, et présente un vice de construction soit temporaire (obstruction momentanée d'un carneau par accident, dépôt de

suie, etc.) ou permanent s'il s'agit d'un four neuf. Un tel four exige un remaniement que la méthode permettra en général de préciser.

6° Bilan de four. — Il est presque inutile de signaler l'intérêt industriel que présente le bilan complet de l'utilisation du combustible, et cependant, à l'inverse des machines à vapeur et moteurs où le rendement thermique est calculé au kilogramme, il est rare que l'on rencontre, même dans les industries où la dépense du combustible est un facteur très important, des études de rendement thermique de four, c'est-à-dire des déterminations précises du rapport entre les calories dépensées dans le laboratoire d'un four et celles existant dans le combustible brûlé sur la grille.

Il convient de dire que de semblables études ou bilans présentent des difficultés sérieuses, une multiplicité très grande de mesures et analyses, et une présence ininterrompue dans un four à travail continu de vingt-quatre ou mieux trente-six heures; mais les résultats à obtenir justifieraient le plus souvent ces efforts.

Le bilan de four Siemens que j'ai publié aux *Annales des Mines*, puis résumé dans mon livre sur le *Chauffage Industriel* est le premier qui ait été fait, à ma connaissance, dans le sens que je viens d'indiquer, c'est-à-dire en rapportant toutes chaleurs utilisées ou perdues à l'énergie calorifique totale disponible, au pouvoir calorifique absolu de la houille. Ils comportent les essais et mesures suivants : pesée et analyse, sur prises d'essais, du charbon ; pesée de l'eau vaporisée dans le gazogène (vérifiée par le dosage de l'eau et de l'hydrogène dans le gaz) ; pesée des escarbilles recueillies dans le cendrier ; analyse de ces escarbilles ; prise d'essai et dosage de l'eau y contenue du gaz, répartie sur une période de trente-six heures de façon à donner la composition moyenne; prise d'essai et dosage de l'eau y contenue des fumées s'échappant du four pendant la même période ; dosage de l'eau contenue dans l'air de combustion ; analyses complètes des gaz et des fumées sur ces prises d'essai moyennes ; mesures des températures d'heure en heure dans le four, les chambres de récupération, le gazogène ; enfin pesée et calcul des produits volatils y con-

tenus des matières premières, dont l'acide carbonique augmente de façon dosable le carbone des fumées et doit entrer en ligne de compte[1].

Les résultats que j'ai obtenus comme résumé de bilan ont été, dans le four précité :

Chaleur utilisée dans le laboratoire.	54 p. 100
— perdue dans le gazogène	11,5 —
— — par les fumées	18,8 —
— — par rayonnement des chambres de récupération	15,6 —
	100 p. 100

7° Étude d'un nouveau four Siemens et essai d'une méthode critique des inventions nouvelles en matière de chauffage. — La critique que j'ai donnée du nouveau four Siemens à régénération des fumées (Biedermann et Harvey) d'abord à la Verrerie de Folembray où l'examen de ce système nouveau m'avait été demandé, puis à la Société d'Encouragement au cours d'une conférence, enfin aux *Annales des Mines* et à la *Revue Générale des Sciences* a été la conséquence indirecte des études expérimentales que j'avais faites sur les fours et en particulier du bilan.

Antérieurement à ces travaux, toutes les études de fours, tous les raisonnements sur les questions de chauffage étaient basés sur les analyses de gaz et le pouvoir calorifique du gaz, sans tenir aucun compte ni des chaleurs sensibles, ni de l'eau contenue dans le gaz et surtout dans les fumées, et, vice de raisonnement plus dangereux encore, sans rapporter ces chaleurs latentes ou sensibles à la chaleur totale disponible dans un poids de houille correspondant au mètre cube de gaz, poids variable suivant la composition de ce gaz.

Ce vice de raisonnement s'expliquait sans se justifier par l'absence de données scientifiques, à savoir les chaleurs spécifiques des gaz variables avec les températures, ou les chaleurs d'échauffement des gaz à toutes températures, qu'ont seuls fournies les travaux de Mallard et Le Châtelier à la Commission du grisou. Mais

[1] J'ai été secondé dans cette expérience par M. Lacroix, mon préparateur, actuellement ingénieur à la même verrerie.

il n'en conduisit pas moins à des erreurs d'appréciation allant jusqu'à 50 p. 100 dans le jugement porté par des ingénieurs ou inventeurs sur certains systèmes, et notamment sur le gaz à l'eau, ou le gaz régénéré des fumées.

Ayant fait, avant toute théorie générale, expérimentalement, c'est-à-dire sur des données scientifiques positives, une étude de la combustion, je crois avoir le premier consacré la méthode de raisonnement qu'il convient d'appliquer au four, j'ai posé les bases de l'étude complète de la question du chauffage, objet du livre que je n'ai publié et terminé que cinq ans après.

En appliquant cette méthode à la critique d'un four et d'un système dont les inventeurs promettaient une économie de moitié, par le retour sous le gazogène des fumées chaudes, et montrant le cercle vicieux où s'était égaré le raisonnement, je crois avoir prouvé l'utilité de cette méthode, j'ai réussi, je crois, à fixer les idées sur la valeur réelle d'un dispositif ingénieux, mais surfait par ses auteurs, ainsi que l'ont reconnu par la suite MM. Siemens eux-mêmes.

Je me permets ici, après l'exposé de ces travaux sur les fours, de signaler à la bienveillante attention de mes lecteurs et juges les dates de mes travaux, soit d'application industrielle de la pyrométrie, soit d'études des fours et de la combustion par la mise en œuvre de données physiques récemment découvertes, soit de l'étude critique du nouveau four Siemens. L'indication de ces dates et plus encore les conditions dans lesquelles se sont faites les recherches expérimentales dans l'usine, permettront, en effet, de fixer la part d'initiative et d'originalité qui peut me revenir dans ces travaux de science appliquée qui découlent des découvertes de Berthelot, de Le Châtelier et de Mallard sans lesquelles la science du chauffage eût été impossible.

8° Comptabilité de fabrication. — La comptabilité de fabrication est trop en dehors du domaine scientifique que je me propose d'exposer ici pour que je m'étende longuement sur ce travail fort important et actuellement encore appliqué à la Verrerie de Folembray.

Les difficultés résidaient dans la multiplicité des données et renseignements que cette comptabilité devait fournir et dans le grand nombre de facteurs intéressés à ces résultats. Dans la fabrication soignée que j'avais à compter, le salaire est *à tâche* et *au choix* (3 choix), mais par mesure d'équité les bouteilles défectueuses par défaut de verre et non par mauvaise façon étaient payées au prix fort, d'où trois nouvelles catégories. En outre la production d'une bouteille passe entre trois ou quatre mains différentes (gamin, grand garçon et souffleur) payés à des tarifs différents : ces ouvriers sont eux-mêmes remplacés en cas d'absence ou maladie par des ouvriers supplémentaires payés eux-mêmes à tâche.

La méthode que j'ai indiquée fournit sans qu'aucun chiffre soit transcrit plus d'une fois : 1° le salaire des ouvriers de place ; 2° le salaire des supplémentaires ; 3° le rendement de chaque ouvrier à l'heure, en 1er, 2e et 3e choix ; 4° la proportion de déclassées, c'est-à-dire le taux du mauvais verre ; 5° la casse en cours de travail ; 6° la casse en toutes manutentions.

Chaque mois, le classement des ouvriers d'après le taux et la qualité de leur production était établi et créait une émulation entre les plus habiles ; la qualité du verre était rapprochée des éléments de contrôle scientifique que j'ai indiqués ; elle s'est améliorée sensiblement (de 10 p. 100 à 2 et 3 p. 100 de déchets) depuis que ce contrôle d'ensemble a pu fonctionner. A cet égard la comptabilité de fabrication est un complément nécessaire du contrôle technique auquel il fournit des indications dont on ne saurait sans l'avoir pratiquée soupçonner l'importance.

9° Organisation du travail continu par équipe de douze, dix et huit heures. — Je ne signale ici cette question toute industrielle que parce que l'idée d'organisation des équipes réalisant le travail de dix heures dans un four à travail continu, avec roulement périodique de vingt-quatre heures, dont je suis l'auteur, a été appliquée de façon satisfaisante et a rendu et pourrait peut-être encore rendre des services dans des cas analogues, comme transition entre le travail de douze heures et le travail de huit heures.

Le four de douze ouvreaux fut divisé en deux groupes de deux équipes à six ouvreaux chevauchant l'une sur l'autre à un inter-

valle de quatre heures et travaillant chacune dix heures; une cinquième équipe de huit heures, faisant quatre heures de travail sur un côté de four et quatre heures sur l'autre, complétait la durée diurne de quarante-huit soit deux fois vingt-quatre heures; les demi-changements de poste se faisaient à huit heures, midi, quatre heures, huit heures du soir et minuit.

Cette combinaison permit de faire face aux difficultés multiples (recrutement des ouvriers, logement, diminution de salaire) conséquences d'une trop brusque réduction du temps de travail), qu'eût entraîné le passage du travail de douze heures au travail de huit, et servit de transition.

Actuellement le travail de huit heures est entré en pratique et les améliorations d'outillage ont permis de le faire sans que les salaires aient eu à subir de réduction sensible, malgré la moindre fatigue des ouvriers et leur moindre présence à l'atelier.

Le travail de dix heures a fonctionné deux ans.

10° Travail mécanique du verre. Moule Ashley. — La fabrication mécanique des bouteilles, telle que je l'ai essayée avec un commencement de réussite, à la suite de la mission d'études en Angleterre qui m'avait été confiée, est basée sur l'idée du moulage du col de la bouteille et de sa paraison, suivie du soufflage à l'air comprimé, d'abord de haut en bas pour percer le verre, puis de bas en haut dans un moule fermé pour achever la forme.

J'ai dit que des essais subventionnés depuis par un groupe de maîtres de verrerie ont été repris par M. Boucher, de Cognac, qui arrive de nos jours à une fabrication satisfaisante des bouteilles à eaux minérales.

J'ai présenté mon moule et ses produits à la Société d'encouragement.

Je signale seulement ici comme faisant suite à ces travaux la fabrication des isolateurs en verre appliquée par mon successeur et ami, M. Guéroult, et produisant de nos jours des milliers de supports de fils télégraphiques et téléphoniques.

Si l'on rapproche cette fabrication d'isolateurs de la question du prix minimum du verre étudié ci-dessus, on comprend l'avantage très grand du support en verre sur le support en porcelaine et

l'intérêt que peut présenter le moulage du verre que j'ai pu étudier dans un cas des plus difficiles, pour les applications de la verrerie à l'électricité.

§ 2. — Travaux a l'École des mines comme préparateur de chimie puis chef des travaux chimiques (1892-1901)

A) **Travaux pédagogiques.** — En 1892, attaché au personnel enseignant de l'École des Mines avec le titre de Préparateur de Chimie, mais faisant, dès mon entrée, les fonctions de Chef des Travaux Chimiques dont le titre fut, par la suite, créé en ma faveur, j'ai été occupé dès le début sous la direction de M. Carnot à la surveillance des travaux d'élèves et à l'enseignement pratique de la docimasie et de la chimie appliquée à l'industrie. Les parties du programme de cet enseignement sur lesquelles j'ai eu un rôle plus personnel, sont les suivantes[1].

1° Attaque des minerais insolubles dans les acides. — L'attaque ou désagrégation des minerais, indispensable à la pratique de l'analyse minérale, est plus importante, s'il est possible, dans un enseignement s'adressant à des ingénieurs des mines qui ne doivent pas être exposés à laisser dans une gangue insoluble des éléments intéressants, parfois les plus précieux pour leurs recherches ou prospections.

Il m'a donc paru intéressant de condenser les méthodes d'attaque des minerais insolubles en un seul chapitre de travaux pratiques, c'est-à-dire en une même période de Laboratoire, et de placer ce chapitre en tête de l'enseignement pratique de la chimie, à côté de l'analyse qualitative et même avant celle-ci.

Je donne ci-après la nomenclature des méthodes d'attaque que j'ai fait employer et que j'avais l'habitude d'exposer aux

[1] La partie de l'analyse de mes travaux résumée sous le titre général « *Travaux pédagogiques* » n'a d'autre but que de faire connaître mes titres au point de vue didactique.

Les diverses méthodes que je passerai en revue ne sont pas mon œuvre ; la plupart sont connues et j'ai indiqué autant que possible les nom de leurs auteurs. Il en est que j'ai améliorées ou simplifiées et je les ai signalées au passage. Mais mon principal et peut-être seul mérite est de les avoir mises entre les mains des élèves et introduites dans le cycle de l'enseignement qui m'était confié.

élèves en une conférence faite à la distribution de leurs travaux de début.

A. — *Méthode de voie sèche.*

1° Attaque au carbonate de soude en creuset de platine et de préférence au moufle.

2° Attaque au nitre et à la potasse en creuset d'argent (minerais de fer chromé).

3° Attaque au carbonate de chaux.

a) Par la méthode Sainte-Claire Deville (déjà analysée).

b) Par la méthode Rivot, c'est-à-dire avec un excès de carbonate de chaux et sans fusion complète.

Cette méthode est intéressante dans le cas des cristaux et verres plombeux; en faisant un mélange très intime de cristal finement broyé avec le carbonate de chaux on peut obtenir une attaque complète en chauffant à 1 050 ou 1 100°, pendant un temps assez court, et si l'on opère dans un moufle certainement oxydant[1] on peut se servir sans danger de creusets de platine.

L'avantage de la méthode Rivot est de permettre le dosage des alcalis.

Cette méthode convient également très bien à l'analyse de silicoborates plombeux, comme préparation à une application de la méthode Moissan pour dosage d'acide borique. La basse température à laquelle on opère et l'excès de chaux évitent le départ d'acide borique.

4° Attaque au sulfate de chaux.

Certains minerais résistent à la désagrégation par le carbonate de chaux et le carbonate de soude, par exemple les rutiles et fers titanés qu'on peut considérer comme des plus difficiles à dissoudre parmi les substances naturelles.

J'ai obtenu de bons résultats d'une méthode indiquée par Friedel pour le traitement du fer chromé : l'emploi du sulfate de chaux par fusion à haute température, au chalumeau Schlœsing. On obtient ainsi un verre très dur et difficile à broyer, mais qui,

[1] J'appelle moufle certainement oxydant un moufle dans lequel il y a aspiration de l'intérieur vers l'extérieur, de sorte que les fissures du moufle n'exposent pas au passage accidentel d'une flamme réductrice. — Le moufle à flamme renversée que j'ai construit réalise cette condition.

traité par une seconde fusion au carbonate de soude, peut être dissous, quelquefois même directement dans l'acide.

La méthode ainsi indiquée a fait l'objet d'une communication en 1893 à la Société de Minéralogie.

5° Attaque par l'acide chlorhydrique gazeux et volatilisation du fer en tube de porcelaine (Sainte-Claire Deville) et séparation éventuelle de l'alumino et du fer.

Cette méthode convient et a été appliquée avec succès à l'essai des bauxites toujours ferrugineuses.

6° Attaque par réduction par l'hydrogène au rouge dans un tube de porcelaine.

7° Attaque par un courant d'hydrogène sulfuré à chaud — (méthode Ad. Carnot). Cette méthode s'applique aux minerais oxydés d'antimoine et d'étain.

8° Méthode Lawrence Smyth par mélange au minerai de carbonate de chaux et chlorhydrate d'ammoniaque, permettant le dosage direct des alcalis dans les silicates et notamment les feldspaths.

B. — *Méthode de voie humide.*

9° Emploi de l'iodure de potassium en très petite quantité en présence de l'acide chlorhydrique. Cette méthode, qui a été spécialement étudiée par mon grand-père, s'applique aux minerais de fer oxydulé ou oxydé et au fer magnétique dont l'insolubilité dans les acides est presque complète. Elle convient encore à l'analyse des minerais d'antimoine oxydés (Sénarmontite) insolubles dans les acides. On sait qu'elle donne naissance à un dégagement d'iode dont la mesure permet de déterminer l'oxygène en plus de FeO, c'est-à-dire l'état d'oxydation du fer.

10° Emploi de l'acide sulfurique. Cette méthode, due à M. Vogt, rend, on le sait, les plus grands services en céramiquo et est la méthode classique d'analyse des argiles. — Malgré la faible solubilité du sulfate d'alumine et sa suspension dans la liqueur, qui masquent la fin de l'opération, il suffit d'un peu de pratique pour arriver à apprécier si l'attaque est complète.

11° Emploi de l'acide fluorhydrique, du fluorure de potassium, ou mieux encore du fluorure d'ammonium additionné d'acide sulfurique.

J'ai peu pratiqué l'acide fluorhydrique à cause du danger qu'il peut présenter pour des élèves débutants : mais le fluorure d'ammonium, qui présente l'avantage d'employer un réactif plus facilement pur dans le commerce, m'a rendu de réels services pour les analyses rapides de verre, bien que je préfère la méthode Deville.

12° Emploi de la potasse à chaud et d'un courant de chlore : s'appliquant aux analyses de minerais de plomb.

Toutes ces méthodes ont été pratiquées par les élèves de l'École des Mines, chaque élève ayant à faire le dosage d'un élément choisi de façon à contrôler si l'attaque avait ou non été complète.

2° Analyse des gaz et méthodes d'étude de la combustion. — Les analyses de gaz et les conséquences qu'on en peut déduire au point de vue des fours, dans une industrie quelconque m'ont rendu de trop grands services pour que je ne tienne pas à en faire profiter l'enseignement de l'École. Tous les élèves qui m'ont été confiés ont fait au moins une fois une analyse complète d'un gaz se rapprochant de la composition du gaz pauvre et un dosage de fumées (oxygène et acide carbonique).

Je ne décrirai pas ici l'outillage industriel que je préconise, emprunté en graude partie au cours de M. Le Châtelier et que j'ai présenté dans plusieurs de mes conférences ou ouvrages. Il a l'avantage de sa simplicité et peut être réalisé dans une usine quelconque; il permet le dosage facile à 1/2 p. 100 de tous les gaz de fours et cette approximation est suffisante.

J'insiste seulement sur l'utilité et même la nécessité du dosage de l'eau dans les fumées et dans les gaz, — dosage très facile et demandant seulement une prise d'essai un peu longue, mais qui cependant est rarement pratiqué dans les études de combustion effectuées jusqu'à ce jour.

Les principales analyses que j'ai effectuées sont : le gaz Siemens mixte avec cendrier noyé, le gaz Siemens, le gaz riche de distillation, les gaz pauvres de moteurs.

3° Dosage de l'acide borique. — L'application de la méthode Moissan au dosage de l'acide borique, par formation d'éther borique, m'a donné de bons résultats et a été mise par mes soins entre les mains des élèves.

Les silicaborates insolubles étaient préalablement traités par la méthode que j'ai indiquée ci-dessus.

J'ai également tenté le dosage de l'acide borique en présence de la silice et du fluor, problème non encore résolu et d'un grand intérêt pour la reconstitution d'émaux à haute dilatation, qui impliquent en général l'usage de cryolithe ou de fluorure de calcium.

Les tentatives que j'ai faites dans ce sens et qui auraient besoin d'être reprises, ont été publiées dans la conférence que j'ai faite sur les émaux, à l'Institut chimique de Nancy.

4° Séparation du nickel et du zinc et du cobalt et précipitation du cobalt à l'état de molybdate de cobalt. — J'ai étudié, spécialement en vue des travaux d'élèves où ces séparations se présentèrent constamment : la séparation du zinc et du nickel, par l'hydrogène sulfuré dans une dissolution acétique contenant les métaux zinc et nickel en sulfates neutres (Rammelsberg) qui m'a donné de très bons résultats et la séparation du cobalt par le molybdate de cobalt en liqueur acétique contenant les azotates métalliques (Carnot). Cette dernière méthode qui fournit le cobalt dans un précipité d'une jolie couleur rose contenant une très faible proportion de cobalt (moins de 10 p. 100) me donna l'idée d'essayer plus tard le molyhdate de cobalt comme colorant d'émail majolique. J'ai ainsi ohtenu un bleu pâle (bleu électrique) d'un fort joli aspect rappelant, en faïence, les plus jolis bleus de grand feu de porcelaine de Copenhague.

5° Précipitation du cuivre et séparation du cuivre d'avec tous les autres métaux par le sulfocyanure d'ammonium. — Cette méthode de séparation du cuivre due à Rivot et peu usitée en général, est devenue très facile depuis que l'acide sulfureux existe en siphons dans tous les laboratoires ; elle n'est souvent pas préférable à la méthode électrolytique, si excellente pour les dosages de cuivre, mais elle peut être précieuse, toutes les fois que l'on veut avoir promptement le dosage du cuivre seul dans un minerai contenant d'autres métaux.

6° Emploi de l'urane dans les méthodes volumétriques, et purification de l'azotate d'urane. — La purification de l'azotate et des

sels d'urane présente un intérêt spécial pour l'application des méthodes volumétriques et pour les usages céramiques ; je l'ai étudiée à ce double point de vue.

On arrive à éliminer complètement le fer en soumettant la solution ammoniacale d'urane à un courant d'hydrogène sulfuré. La solubilité de l'urane dans l'ammoniaque ne suffit pas en effet à éliminer les dernières traces de fer, tandis que le sulfhydrate d'ammoniaque y parvient.

L'oxyde d'urane ainsi obtenu donne de très beaux jaunes en céramique.

7° **Travaux divers.** — Je ne mentionne ici que pour mémoire un certain nombre de méthodes d'analyses introduites dans les travaux pratiques pendant que j'en étais chargé et qui me sont devenues très familières, mais dans l'enseignement desquelles je n'ai fait que suivre fidèlement les indications des cours de docimasie ou de chimie industrielle : Analyse complète des fers, fontes et aciers, analyse organique ou élémentaire des houilles, mesure du pouvoir calorifique par la bombe calorimétrique, dosage de l'azote nitrique ou ammoniacal par les méthodes Schlvesing et Boussingault, analyse et essai industriel des eaux, etc.

Je n'insisterai pas davantage sur toutes les méthodes d'analyses des minerais qui de tout temps ont été pratiquées par les élèves ; mon seul rôle dans ces travaux de docimasie consistait à conseiller les élèves et à leur inculquer cette précision et ce soin dans les opérations d'analyse que mon grand-père possédait au plus haut degré, précision et méthode qui manquent toujours à des débutants.

Je m'arrêterai davantage, comme y ayant personnellement contribué, à l'organisation des travaux d'*analyse qualitative*, dont l'enseignement approfondi est aussi nécessaire à des ingénieurs des mines que les méthodes d'attaque dont j'ai déjà parlé.

Chaque élève recevait au cours de sa première année, six liqueurs pour analyse qualitative contenant un nombre croissant d'éléments à reconnaître, d'abord un acide et deux bases, puis quatre, cinq et six éléments, le nombre en étant fixé d'avance, pour éviter les pertes de temps ; dans les dernières liqueurs je

mettais en général un métal de chaque classe pour obliger les élèves à parcourir tout le cycle de l'analyse qualitative; enfin je distribuais les liqueurs d'après les dossiers individuels, de façon que chaque élève rencontrât au moins une fois chacun des métaux courants de la nomenclature.

En suivant ce programme, et en faisant appliquer à la recherche des métaux les méthodes basées sur les caractères *nécessaires et suffisants*, si clairement indiqués dans le livre de M. Babu, je suis arrivé à obtenir des élèves, dès la première année, une connaissance satisfaisante de l'analyse qualitative, soit qu'il s'agit d'une liqueur ou d'un minéral, attaquable ou non par les acides.

B) Travaux de recherches scientifiques et d'applications industrielles. — Les ressources que m'offraient le laboratoire de l'École des Mines et mieux encore les encouragements et conseils scientifiques que j'y ai reçus, m'ont permis de mener de front avec mes fonctions au laboratoire, une série de recherches et d'études concernant la céramique, la verrerie, et les problèmes de combustion et de chauffage.

Tous ces travaux ont été publiés, faisant en général l'objet d'une communication, puis d'un mémoire; quelques-uns ont reçu une sanction, médaille de la Société d'Encouragement, rapports du Comité des Arts chimiques, prix de l'Institut.

Je ne présenterai donc leur analyse que sous une forme succincte, rappelant seulement les résultats généraux obtenus, cherchant également à préciser la part d'initiative, de personnalité dans ces travaux, dont quelques-uns m'ont été tracés suivant un programme initial, et où j'ai été secondé par la Société d'Encouragement.

Je tiens à cet égard à rendre hommage aux savants ou industriels qui m'ont aidé : le Comité des Arts chimiques dont faisait partie de Luynes; M. Carnot, alors directeur du laboratoire de l'École des Mines; M. Vogt qui mit à ma disposition, tout préparés, des échantillons de toutes les terres de Sèvres, et les couvertes avec l'analyse exacte qui m'évita bien des recherches; M. Lauth au sujet des couleurs de grand feu M. Le Châtelier qui suivit mes travaux et résolut bien des difficultés du début; dans l'industrie

M. Boulenger, de Choisy-le-Roi, qui me confia un grand nombre de ses compositions et prépara des prismes pour étude des dilatations; M. Peyrusson, qui prit l'initiative de la démarche des fabricants de porcelaine de Limoges[1];

8° Études céramiques. — Les plus importantes des recherches que j'ai effectuées sont les études céramiques exécutées sous le contrôle du Comité des Arts chimiques de la Société d'Encouragement suivant un programme fixé par lui. Ces recherches comportent deux parties.

a) Étude des dilatations et conséquences qu'on en peut déduire au sujet de l'accord des pâtes et des couvertes; tressaillure, écaillage, moyens d'y obvier. — *b*) Étude des colorations des couvertes, et de l'influence des atmosphères oxydantes et réductives sur les couleurs céramiques.

a. *Dilatations des pâtes et des couvertes.* — L'outillage nécessaire à la mesure des dilatations par la méthode des anneaux colorés est de M. Le Châtelier, qui réussit à rendre pratique et industrielle cette admirable méthode Fizeau qui prend pour unité de mesure la longueur d'onde, et permet d'apprécier le 1/10 000 de millimètre. La part personnelle que j'ai apportée à cette étude a été la progression des opérations, orientées de façon à découvrir quelques lois simples s'appliquant, si possible, à toutes les couvertes (pouvant par suite servir de guide aux industriels intéressés pour les conceptions de leurs pâtes ou de leurs couvertes), puis une série de procédés opératoires portant solution des difficultés qui se présentaient à chaque pas dans mon travail.

A cet égard, je signalerai les tours de main pour la fusion, la coulée ou la préparation des prismes destinés aux mesures de dilatation.

Lorsque j'avais affaire, et c'est par là que j'ai commencé, à des silicates ou borates alcalins, j'opérais simplement en creuset de platine et je coulais les verres dans un moule prismatique fait d'une matière très friable, mélange de sable et de 5 p. 100 d'ar-

[1] Je ne veux pas oublier non plus mes collaborateurs, MM Chatenet, Saglio, Grenet, et mes auxiliaires de l'École des Mines, MM. Chanteduc et Meunier.

gile. Mais pour les borates et silicates terreux peu fusibles, ou pour les silicates ou phosphates plombeux, je rencontrais une double difficulté : insuffisance des températures des fours d'où impossibilité de couler, et attaque du creuset.

Je ne disposais alors, en dehors du four Schlœsing, que du four Perrot ou plutôt du four à creuset à récupération connu sous le nom de four Bigot qui se prête assez mal aux coulées des verres pâteux.

Je me suis servi de bougies de filtre Pasteur, que je cassais ensuite et d'où je retirais, sans coulée, des prismes convenant très bien à la mesure des dilatations. Cette méthode, excellente pour les silicates terreux peu fusibles et peu liquides, eût été dangereuse pour les verres ou émaux très fluides et corrosifs, qui eussent facilement attaqué le moule, modifiant ainsi leur composition.

Pour ces dernières, et en particulier les fluoborates, phosphates et fluophosphates, je me suis servi de mon moufle. J'ai déjà dit que lorsque le tirage y est bien réglé, l'atmosphère du four y est parfaitement oxydante de sorte que j'ai pu faire, en creusets de platine et par conséquent avec toutes garanties de composition, des fusions d'émaux plombeux et même phosphatés sans m'exposer à une usure de ces creusets trop rapide. Je faisais la coulée dans le moule triangulaire à l'intérieur même du moufle, de sorte que la viscosité du verre n'était pas un obstacle et que, n'ayant pas à compter avec le refroidissement du creuset, je pouvais opérer sur de petites masses.

Ces détails méritent d'être signalés, parce qu'ils ont conduit à rendre tout à fait pratique la méthode Fizeau-Le Châtelier, que je considère comme suffisante dans beaucoup d'études d'émaux, ainsi que le démontrent mes travaux postérieurs. Une mesure de dilatation, en y comprenant la préparation du mélange, la coulée, le polissage, ne demande que deux ou trois heures de travail et n'exige qu'un prisme de 2 à 3 centimètres de longueur [1].

[1] On sait que par la suite M. Le Châtelier a réalisé avec M. Coupeau un appareil permettant de mesurer les dilatations jusqu'à 900 et 1000°, et supérieur à cet égard au premier appareil qui ne donne la dilatation que jusqu'à 100 ou 200°. — L'appareil Le Châtelier-Coupeau est évidemment préférable pour l'étude des pâtes et est celui qui donne la solution parfaite pour l'étude de l'accord des pâtes et couvertes, la mesure

Voici les principales mesures effectuées par cette méthode :

1° Silicates et borates simples;
2° Pâtes de faïence ;
3° Couvertes de faïence ;
4 Pâte de porcelaine ;
5° Couverte de porcelaine ;
6° Couverte de porcelaine de Sèvres additionnée de divers correctifs ;
7° Émaux à haute dilatation pour tôle et fer ;
8° Émaux sur verre pour peinture en vitrail ;
9° Phosphates.

Les conclusions de l'ensemble de mes travaux sur les dilatations, premières recherches qui aient été industriellement et scientifiquement effectuées en céramique, ont été résumés avec précision dans le Journal « la Céramique », n° 110, du 1er mars 1899, ainsi que dans ma conférence à Nancy ; les principaux résultats sont les suivants :

1° Démonstration empirique de la loi d'accord des pâtes et couvertes et de l'absence d'écaillage ou tressaillure lorsque les éléments ont même coefficient de dilatation ;

2° Discussion et condamnation partielle des lois empiriques avancées par Schott et Seger, la première, loi additive concernant la dilatation des verres reconnue inexacte, la seconde concernant la modification de dilatation des pâtes avec la température de cuisson, reconnue également inexacte dans certains cas ;

3° Indication de l'influence de corrections additives mais *différentielles* sur la couverte de Sèvres ; conclusions industrielles à en déduire ;

4° Explication et définition du rôle de l'acide borique qui augmente ou diminue la dilatation suivant qu'un émail est très boriqué ou peu boriqué;

de la dilatation du récipient et de l'excipient se faisant par superposition des deux éléments à l'étude Mais pour l'étudo de la dilatation des verres et des émaux s'appliquant aux métaux ou récipients qui ne sont pas susceptibles de présenter des points singuliers et même des rebroussements dans leurs courbes de dilatation, la méthode Fizeau avec mesure de dilatation jusqu'à 100° peut donner des indications industriellement très utiles. Je l'ai vérifiée pour les émaux sur fer et sur verre. Elle a l'avantage d'une plus grande simplicité et d'une facilité plus grande de la préparation des éprouvettes.

5° Indications concernant les corrections des pâtes de faïence par addition calcaire ou siliceuse. A cet égard, j'ajouterai aux essais de laboratoire la sanction que m'a donnée la pratique industrielle des pâtes de faïence fine. A Vallauris, les corrections que j'ai eu à faire par addition de dégraissant calcaire ou siliceux ont confirmé mes conclusions de laboratoire, notamment dans un cas d'écaillage de barbotine sur biscuit corrigé par une addition calcaire ;

b. *Colorations des pâtes et couvertes en atmosphères définies.* — L'étude des colorations en porcelaine et faïence a dépassé de beaucoup le programme que m'avait tracé le Comité des Arts Chimiques, lequel limitait mes recherches au fer et au cobalt dans l'Industrie de la porcelaine. La question d'atmosphère oxydante ou réductrice des fours se rattachait trop directement à mes travaux sur la combustion pour ne pas m'intéresser spécialement, et le côté chimique de la fabrication des émaux colorés obtenus tous par précipitation m'attirait plus encore.

Je crois donc pouvoir revendiquer comme mon œuvre très personnelle [1] cette étude qui, je le crois, n'a pas encore en industrie produit tous les résultats auxquels elle pourrait conduire.

Les résultats concernant le fer et le cobalt analysés très complètement dans mon mémoire à la Société d'Encouragement et dans ma conférence à Nancy se résument en ce qui suit :

1° Influence de l'atmosphère réductrice sur la coloration de la couverte qui passe du jaune au bleu ou céladon quand on passe de l'atmosphère oxydante à l'atmosphère neutre ou réductrice. Cette action plus facile avant glaçage de la couverte est encore appréciable sur une couverte glacée d'avance; d'où blanchiement de la porcelaine au feu de réduction ;

2° Décoloration des pâtes contenant même 2 p. 100 de fer au feu de réduction, ces mêmes pâtes étant franchement rougeâtres en feu oyydant;

3° Régularité de la coloration par le cobalt et indifférence de cet

[1] Je dois signaler ici cependant que le principe de la méthode par précipitation employee souvent de nos jours pour la coloration des pâtes m'a été indiqué par M. Vogt.

oxyde à l'action du feu de réduction : d'où l'on peut déduire que les accidents de fabrication des bleus de cobalt sont imputables à l'action des produits sulfureux dégagés de la houille et non au feu de réduction ;

4° Régularité des colorations par différents métaux et production de nouvelles couleurs de grand feu en faisant la cuisson en atmosphère rigoureusement définie. Cette dernière conclusion m'a conduit à une étude plus approfondie du grand feu de porcelaine.

9° Décoration au grand feu de porcelaine. — On sait qu'il n'existe en porcelaine qu'un nombre assez restreint de couleurs de grand feu ; si à l'heure actuelle la palette a été bien enrichie, surtout à Sèvres, et aussi à Limoges par les travaux de M. Peyrusson, elle est cependant encore loin d'être complète et lorsque j'ai fait mes travaux, ces couleurs étaient limitées aux tons que connaissent bien les amateurs de porcelaine de Copenhague, la manufacture royale danoise s'étant spécialisée dans cette fabrication.

Cette pauvreté résulte de ce que, lorsque les cuissons sont faites à plein feu et non à l'abri de la flamme et par conséquent au contact d'une atmosphère variable, on ne peut compter sur la fixité des couleurs, excepté pour quelques rares oxydes, le cobalt, le chrome, le platine, etc. Avec les autres métaux, on peut obtenir de jolis flammés, effets plus ou moins heureux du hasard, mais sans certitude, sans uniformité. Les couleurs les plus stables, le cobalt même, sont sujettes à des accidents, dus le plus souvent aux sulfures contenus dans les houilles. Les ressources du grand feu sont au demeurant très restreintes. Le procédé est à peine employé en grande industrie.

Or, lorsqu'on opère en atmosphère définie, non sulfureuse, le nombre des métaux susceptibles de donner des couleurs unies, de nuances très délicates, au moyen desquelles les effets décoratifs du Cepenhague et des grands feux de Sèvres pourraient être variés à l'infini devient beaucoup plus nombreux. Il me suffira de signaler le céladon de fer et manganèse, le brun de chrome et fer, le vert turquoise de cuivre, le vert de chrome qui devient d'un joli vert pré

en réducteur, le gris de nickel, le jaune d'urane très éclatant en oxydant, le rose de manganèse, le noir d'urane, le brun rougeâtre de cuivre et fer et toutes les combinaisons que l'on peut obtenir avec certitude, en combinant entre elles ces diverses couvertes qui ont toutes à peu près la même fusibilité, lorsque les additions sont faites à poids moléculaires égaux et par faibles doses.

Et si l'on tient compte du fait que ces couleurs de grand feu de porcelaine obtenues par précipitation, cuites en atmosphères définies, ont en général une douceur de tons et une profondeur que ne présentent aucune autre couverte ou décoration céramique, on en peut conclure qu'il y aurait là une source d'effets artistiques et décoratifs très nombreux.

La réalisation industrielle de ce procédé de cuisson du grand feu en atmosphère définie est-elle possible? Nous croyons pouvoir l'affirmer. En ce qui concerne le moufle où la cuisson devrait se faire à l'abri de la flamme, la réponse n'est pas douteuse; de tels moufles existent à Sèvres. Quant à la réalisation de l'atmosphère définie réductrice, mais non sulfureuse, qu'il faudrait maintenir ou faire circuler dans le moufle, nous connaissons des appareils industriels qui permettraient aisément de l'obtenir.

Nous pensons donc et telle est la conclusion industrielle de nos travaux, que l'on pourrait enrichir la palette de grand feu et créer plusieurs palettes entièrement nouvelles, en atmosphères réductrices, et que cette fabrication serait d'un effet artistique très heureux.

10° Émaux majoliques colorés par précipitation. — La méthode de précipitation pour préparation des *émaux colorés de faïence* m'a donné, postérieurement à la publication de mon mémoire, d'excellents résultats, au cours des travaux effectués en 1899 et 1900 avec Laurent Desrousseaux, qui valurent à ce dernier une médaille d'argent à l'Exposition, pour ses vases décorés à la main à l'aide des émaux que j'avais préparés, et cuits dans le moufle à gaz que j'ai réalisé dans ce but en 1899.

Les avantages des émaux obtenus par précipitation d'un oxyde métallique au sein d'un émail incolore résultent : du mélange très

parfait du colorant avec l'émail assurant l'égalité des tons même dans le cas où, par une cuisson très rapide, la dissolution de l'oxyde dans le verre n'est pas tout à fait complète, ce qui facilite l'obtention de tons un peu mats et très doux ; de l'égale fusibilité de tous les émaux d'une même palette, que nous avons pu constater, toutes les fois que les additions étaient assez faibles et faites à poids équivalents ; enfin de la possibilité de combiner les émaux entre eux de façon à obtenir des couleurs intermédiaires, que l'on peut prévoir dans une certaine mesure.

Si l'on ajoute à ces avantages le fait que la préparation des émaux par précipitation est, à certains égards, beaucoup plus facile que la méthode des frittes, on conçoit qu'elle puisse et ait déjà rendu de réels services en céramique : la première application que j'en ai faite a été essayée à l'École des Mines et n'était que la suite de mes travaux sur les colorations[1]. J'en ai exposé les résultats à l'Exposition de 1900.

11° Étude des fours de Laboratoire en vue de l'obtention de températures plus élevées. — Parmi les difficultés que j'ai rencontrées au cours de mes études sur les atmosphères oxydante ou réductrice en céramique, celle qui m'a arrêté tout d'abord était le chauffage à la température de la porcelaine dure (1300° à 1400°), des tubes de porcelaine dans lesquels je devais faire passer les mélanges d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, ou de vapeur d'eau et hydrogène, ou d'acide carbonique et d'air définissant l'atmosphère. Le four Mermet, le plus pratique pour chauffage des tubes n'atteint que 1 000 à 1 100° au maximum

J'ai cherché dans la récupération, c'est-à-dire le chauffage préalable de l'air destiné à brûler le gaz de ville, la solution de cette difficulté, et j'ai réalisé suivant cette idée un *four à cinq tubes* construit par M. Lequeux où j'obtenais facilement le glaçage de la couverte nouvelle de Sèvres et de la couverte de Limoges. — Ce four est décrit dans mon mémoire à la Société d'Encouragement et dans ma conférence à Nancy.

Encouragé par ces résultats j'ai appliqué le même mode de récu-

[1] Je reviendrai dans la troisième partie de cet exposé sur cette méthode de préparation des émaux à laquelle j'ai apporté plus tard quelques perfectionnements.

pération au chauffage de moufles, et réalisé un *four à moufle* présenté l'année suivante à la Société d'Encouragement et dont M. Adnet accepta la construction.

Ce four décrit dans ma Conférence à Nancy, dans le traité de Docimasie de M. Carnot, est employé couramment dans les laboratoires de l'École des Mines et a fourni à l'heure actuelle une cinquantaine d'applications tant en laboratoires que dans la petite industrie. J'ai réussi à l'École des Mines à y cuire la porcelaine dure de Limoges, et à en fondre la couverte de Limoges.

Les idées fondamentales de cette invention sont les suivantes : Utilisation de la chaleur perdue et échauffement préalable de l'air par un récupérateur métallique ; flamme renversée entourant deux fois le moufle de façon à augmenter la longueur de la flamme et former enveloppe chaude protégeant contre le refroidissement ; chauffage symétrique assurant l'égale répartition de la chaleur sur les deux côtés du moufle ; disposition en dôme de la flamme contribuant encore à l'égalité du chauffage. De fait, le chauffage peut être tellement régulier, dès les plus basses températures, que j'ai réussi dans ce moufle à faire la soudure du verre et à réchauffer d'assez grandes cuves en verre sans casse.

Ce four de laboratoire a reçu par la suite des applications industrielles sur lesquelles j'aurai à revenir.

12° Étude d'émaux à haute dilatation à base de borate de chaux. — L'étude d'émaux à haute dilatation à base de borate de chaux (Pandermite), de spath fluor et de cryolithe, que j'ai présentée à la Société d'Encouragement, comportait la mesure des dilatations d'une *soixantaine* d'émaux en regard de leur composition chimique et de l'examen de leur solubilité. — A la suite de la publication de mon Mémoire j'ai reçu la visite du chimiste de la maison Japy, de Beaucourt, qui me laissa penser que quelques formules et indications publiées dans mon mémoire avaient été remarquées et utilisées par les industriels qui ont acquis en matière de tôle émaillée une universelle réputation. Depuis, MM. Japy me demandèrent de faire de leurs émaux une étude scientifique au point de vue de l'adhérence de l'émail au fer, étude que le manque de temps ne me permit pas d'accepter.

13° Étude géologique d'un gisement de silice amorphe dans la vallée du Cher. — La silice amorphe présente au point de vue des industries céramiques un intérêt considérable.

On sait que les galets de silex de Dieppe sont l'objet d'une importante exploitation.

La raison d'être de l'emploi de la silice amorphe de préférence au quartz ou au sable de Fontainebleau broyé a été donnée par les travaux de Le Châtelier sur la dilatation du quartz, qui, à l'inverse de la silice amorphe, présente un point singulier à une température inférieure à celle de la cuisson des pâtes céramiques. D'où l'intérêt d'employer en faïence cette substance, de préférence au sable quartzeux, comme dégraissant.

La silice amorphe de la vallée du Cher a été utilisée en premier par M. Boulenger, de Choisy-le-Roy. Mais en 1899 on me pria d'aller étudier un nouveau gisement de silice absolument blanche et qui semblait appelée à remplacer le silex broyé dans tous ses emplois, y compris la fabrication de la dynamite qui en faisait alors usage une importante consommation.

Dans l'étude que je fis alors, qui sans être publiée fit l'objet d'une communication à la Société de minéralogie, j'ai reconnu le gisement, fait cinq analyses sur des prises d'essai diverses et cherché à définir l'importance de la couche.

L'analyse m'a révélé la présence de 98,5 p. 100 de silice amorphe, et de traces de fer. Ce fer a la propriété d'être soluble dans l'acide chlorhydrique concentré, ce qui permettrait assez facilement une épuration complète. Quant au gisement, après examen microscopique, fait avec le concours de M. Cayeux, dont la compétence en matière de terrains sédimentaires, est bien connue, nous avons pu rattacher ce gisement à l'étage de la craie blanche qui, dans la vallée de la Loire et du Cher en se rapprochant des bords du bassin, passe d'une teneur élevée en carbonate de chaux à une teneur en silice de plus en plus grande, puis totale.

Cette détermination présente un double intérêt, géologique au point de vue d'un caractère de l'étage de la craie et industriel au point de vue de la puissance du gîte, qui semble devoir être très grande, presque illimitée.

14° Étude au point de vue de la fusibilité et de la dilatation des phosphates alcalins et métalliques. — L'étude des verres et émaux à base d'acide phosphorique est encore très peu avancée; depuis les travaux de Sidot qui réalisa un verre phosphaté inattaquable à l'acide fluorhydrique rien de nouveau n'a été tenté.

J'ai commencé en 1899 quelques recherches sur ces phosphates alcalins, et, ces derniers m'ayant indiqué des dilatations plus élevées que les silicates ou borates correspondants, je cherchai, par la combinaison avec cet acide des métaux qui m'avaient donné les plus hautes dilatations, à obtenir le maximum de dilatation des verres. C'est ainsi que j'essayai les phosphates de plomb et de bismuth.

Les essais que j'ai faits dans ce sens et qui ne sont pas terminés, m'ont indiqué nettement que l'on trouverait dans ces corps des mélanges fort utiles, autant par leur dilatation que par l'éclat qu'ils peuvent avoir, dans les émaux sur métaux et en particulier les émaux translucides, si appréciés de nos jours.

15° Étude théorique de la combustion. — C'est au cours de mon séjour à l'École des Mines et après y avoir étudié tous les systèmes de fours que comportaient les industries qui y sont professées, que j'ai établi la Théorie générale du chauffage et de l'Utilisation de la chaleur dans les fours; puis publié, après cinq années d'études, la solution de ce problème, répondant à tous les cas que le chauffage à la houille peut présenter.

Je ne crois pas utile d'analyser un ouvrage qui a reçu la sanction de l'Académie des Sciences, et m'a, à l'époque, mérité le bienveillant appui de MM. Berthelot et Moissan qui me présentèrent pour le prix Delalande-Guérimeau. Ce livre, traduit en grande partie en allemand, dans l'ouvrage de Toldt, est à la veille d'être édité en Amérique par M. Quenceau de New-York.

C) **Publications et revues.** — Indépendamment des travaux de recherches et des mémoires que j'ai cités, j'ai publié de 1892 à 1900 un certain nombre d'études et revues techniques concernant des questions industrielles, parmi lesquelles je dois citer en première ligne les **Conférence au Conservatoire** que j'ai eu l'honneur

de faire et qui ont été éditées aux *Annales*, puis des articles dans le *Génie civil* et dans la *Revue générale des Sciences*.

Je n'insisterai ici que sur l'**État actuel de la verrerie et de la cristallerie en France**, à laquelle je consacrai un voyage fait avec M. Olivier, directeur de la Revue, et une longue étude faite avec la collaboration de M. Guéroult dans la partie technique et pour laquelle j'obtins le bienveillant concours de M. Fontaine, alors directeur de l'office du travail pour toute la partie statistique (production et main-d'œuvre en verrerie).

Cette étude, qui me mit en relations avec un grand nombre de maîtres de verrerie, m'a permis de connaître exactement l'état de la verrerie en 1896, à une époque où mes travaux de recherches me tenaient plutôt en rapport avec les industries céramiques.

L'industrie verrière y est examinée sous tous ses aspects, économique, scientifique, technologique, commercial même, et s'il m'est difficile d'apprécier le résultat de cette œuvre de propagande scientifique et l'influence qu'elle a pu exercer en verrerie, j'ai eu du moins la satisfaction de voir appliquer par un syndicat de maîtres de verreries quelques-unes des idées que j'avais mises en avant, pour tendre à la régularisation de la fabrication et favoriser l'exportation du trop-plein de production.

Je dois encore signaler l'étude que j'ai donnée en mars 1896 sur **les fours à bassin en verrerie** à la suite du voyage d'études de la verrerie en Belgique qui précéda ma publication dans la *Revue générale des Sciences* et après les discussions que je pus avoir avec M. Gobbe, le maître en matière de fours à bassin pour verre à vitres:

La question de la forme à donner au laboratoire d'un four de verrerie et de la profondeur du bain de verre est liée à la connaissance des propriétés physiques de cette substance, conductibilité et pouvoir diathermane. Le verre possède à cet égard des qualités inverses de celles de l'acier qui est bon conducteur, mais opaque ou athermane. Or, aux environ de 1880, des constructeurs de fours et en particulier de fours à bassin (Siemens de Dresde) brevetèrent des fours dits *à radiation*, c'est-à-dire à voûte très élevée chauffant par le rayonnement de la chaleur incandescente de la voûte. L'application en fut faite indistinctement en verrerie et en

métallurgie ; heureuse dans le premier cas, elle fut désavantageuso dans le second. Il convenait d'en donner la raison scientifique. D'autre part, l'expérience des constructeurs de fours et l'initiative hardie de l'ingénieur belge que j'ai cité prouvaient que la cuve du four à bassin devait être différente suivant les sortes de verre.

La théorie du four à bassin expliquant ces faits semble la suivante : En verrerie, l'échauffement du verre se fait principalement par radiation de la chaleur lumineuse de la voûte traversant le verre fondu, il cst utile d'avoir une voûte élevée et une flamme très claire n'arrêtant pas les radiations. La profondeur du verre doit être proportionnée au pouvoir diathermane : atteignant jusqu'à 2 mètres dans les fours à vitres, elle peut n'être que de 1 mètre, 0,80 m. et même 0,60 m. avec les verres foncés.

Cette théorie fut pleinement approuvée par l'inventeur des fours à bassin profonds qui me demanda d'en faire l'objet d'une communication au Congrès de ehimie appliquée de l'Exposition de 1900.

§ 3. — Travaux industriels (1901-1905). faïence, émaux, verrerie, construction de fours gazogènes.

Les travaux industriels auxquels je me suis consacré depuis 1900 ont tendu vers les applications industrielles des résultats de recherches scientifiques précédemment décrits et se sont étendus à des titres divers, soit comme conseil, collaborateur, ou administrateur, à presque toutes les branches des Arts du feu que j'avais abordées. Dans leur ordro chronologique ils se sont succédé comme suit.

1° Émaux majoliques par précipitation. — J'ai collaboré avec M. L'Hospied au Golfe Juan en 1899 et 1900 et ai donné une série de formules d'émaux colorés par précipitation, obtenus à l'aide de sa couverte ordinaire B 48.

Les améliorations que j'ai apportées à la méthode déjà décrite ont tendu à obtenir des précipitations complètes avec des réactifs volatils et sans excès de réactif, de façon à éviter la modification

de composition due à l'introduction d'un élément fixe et à obtenir le maximum d'économie.

A cet égard l'emploi de *solutions titrées neutres* précipitées par une *solution d'ammoniaque titrée équivalente* présente de grands avantages. La plupart des métaux précipitent par l'ammoniaque, mais sont solubles dans un excès de ce réactif; en dosant exactement le précipitant, on peut obtenir l'entraînement complet du métal, ou tout au moins une coloration toujours identique.

Une autre amélioration du procédé pourrait réaliser sur les méthodes actuelles une sensible économie, ce serait l'emploi comme matière première colorante de produits naturels ou minerais, toutes les fois que ces minéraux existent dans la nature à l'état suffisamment pur et facilement attaquables aux acides. Le carbonate de fer, le carbonate de manganèse dont on a trouvé en France de puissants gisements, le carbonate de zinc et d'autres encore peuvent être cités comme exemple et pourraient donner de bons résultats, principalement pour la céramique de bâtiment et les revêtements qui exigent le bon marché.

Dans certains cas, la méthode de précipitation peut ne pas convenir, quand, par exemple, on a affaire à des émaux un peu solubles (émaux translucides, émaux sur verre), ou quand il est nécessaire de faire la fusion complète de l'émail avant son emploi. Le procédé peut alors être modifié; il suffit de prendre la plus importante des matières insolubles entrant dans la composition de l'émail, la silice, par exemple, sous forme de sable impalpable et de la colorer par précipitation avant fusion; on peut ainsi constituer une série de silices chargées d'un oxyde intimement mélangé, auxquelles il suffirait d'ajouter une composition fondante toujours identique, pour obtenir toute la gamme des couleurs. Et si l'on a soin de faire les précipitations par liqueurs titrées équivalentes, ces silices colorées peuvent être mélangées en toutes proportions en donnant des émaux comparables quant à la fusibilité et la dilatation, double qualité essentielle. J'ai fait la preuve de cette loi physique et chimique dans les essais suivants.

2° Couleurs de porcelaine. — La préparation des couleurs de por-

celaine pour feu de moufle est une série de recettes de précipitation d'oxydes ; on mélange ces oxydes impalpables avec un fondant boriqué très fusible qui, au feu de moufle, englobe l'oxyde sans amener en général sa fusion complète.

J'ai étudié et amélioré quelques-unes de ces méthodes parmi lesquelles je puis citer la préparation des rouges de fer. Pour obtenir l'oxyde de fer rouge tout à fait pulvérulent et non caillebotté, il est nécessaire de partir d'un sel de protoxyde et de peroxyde le précipité de protoxyde de fer : les anciennes méthodes basées sur l'oxydation à l'air sont très lentes ; l'emploi de l'eau oxygénée, m'a donné d'excellents résultats et assure la formation immédiate du rouge.

Les modifications que j'ai indiquées pour la coloration des émaux peuvent également être appliquées à beaucoup de couleurs sur porcelaine et donner de bons résultats.

3° Émaux sur verre. — La palette d'émaux sur verre me fut demandée en 1900 par M. L'Hospied qui ne parvenait pas à la réaliser par des essais empiriques. Antérieurement à mes travaux, M. Farge, le peintre en vitraux, avait à ma connaissance résolu le problème pour sa propre fabrication, et l'on trouvait dans le commerce chez les fabricants d'émaux bien connus, des émaux sur verre tressaillant peu ou point.

Le point le plus intéressant de mes travaux sur les émaux de même dilatation que le verre est la rapidité avec laquelle je suis parvenu, grâce aux méthodes scientifiques et à l'outillage de mesure de dilatation et de températures que j'ai décrit, à résoudre le problème demandé et la facilité plus grande encore avec laquelle, en partant d'un émail coloré au cuivre pris comme point de départ, je suis parvenu, par l'application pure et simple de l'idée des équivalences entre métaux de même famille, à fabriquer le reste de la palette.

L'étude comporta deux étapes : 1° la recherche d'un émail fusible à une température inférieure à la température de recuit ou de ramollissement de verre à vitres (environ 550°) insoluble ou très peu soluble dans l'eau, et de même dilatation que le verre à vitres. — Cette étude a été faite avec le concours de M. Grenet et nous

a conduit au résultat en quelques semaines. 2° Substitution dans cet émail coloré au cuivre de tous les autres colorants à poids, moléculaires égaux. Cette étude fut faite dans l'usine même de M. L'Hospied et sur les indications culculées par les poids moléculaires des métaux cobalt, manganèse, zinc, nickel, etc.

Une seule difficulté, se représenta pour les métaux de la famille du fer et chrome qui nous força à quelques essais complémentaires. L'émail au chrome ayant été trouvé, les autres, à l'oxyde de fer, l'urane, se déduisirent par calcul suivi d'essais empiriques d'application sur verre.

La palette fut complétée par M. L'Hospied par des mélanges en proportions variées de ces différents émaux isofusibles et isodilatables.

4° Fours de cuisson céramique continu ou canal. — J'ai réalisé dans l'usine de M. L'Hospied un four-canal à récupération chauffé au gaz de bois Riché, suivant un plan qui fut exposé dans la classe 72 à l'Exposition Universelle de 1900 et qui n'est que l'application, à un four de dimensions plus grandes, et à un gaz industriel, des idées résumées plus haut sur mon four de laboratoire.

Le four ainsi construit donna exactement les résultats promis comme température (1100°), durée d'échauffement (à peine six heures), et récupération, tellement complète, ainsi que l'impliquait l'emploi d'un gaz riche, sans azote, que les fumées atteignaient à peine 100° à la base de la cheminée. La consommation n'était que de 15 mètres cubes à l'heure de gaz à 3000 calories, pour un four de 1/2 mètre cube environ, ce qui correspondait à une dépense égale à celle d'un moufle à charbon.

La seule difficulté qui empêcha le four de se répandre fut la question du roulement dans le canal, sur billes de porcelaine. Mais comme cette question de roulement est actuellement à peu près résolue, dans quelques fours continus essayés en porcelaine, pour le petit feu du moins, le dispositif que j'ai expérimenté avec succès pourra rendre encore des services. Il a l'avantage d'être symétrique par rapport à l'axe du canal, de sorte que l'on peut faire le chauffage sur telle longueur qui convient le mieux, il suffit de pro-

longer la rampe des brûleurs. Aussi en ai-je récemment repris l'étude.

J'ai encore essayé un moufle fixe avec récupérateur Siemens et cloche d'inversion. L'échauffement en fut plus lent à cause du récupérateur à empilage de briques qui ne me semble pas la bonne solution des fours à gaz céramiques. La température atteinte y fut de 1 050° et les émaux se développèrent si bien, avec une telle égalité de ton, dans cette atmosphère certainement oxydante, que M. L'Hospied adopta le dispositif de flamme renversée avec admission de la flamme en retour par le sommet du moufle, et en dépression autour du moufle, la symétrie du chauffage et ce que j'ai appelé le chauffage en dôme, dans un four à alandiers latéraux, qu'il réalisa après le succès constaté de nos essais en commun et dont il a actuellement construit un certain nombre d'exemplaires.

L'année suivante, en 1902, j'ai construit, dans l'usine de Vallauris à laquelle je suis intéressé, un moufle à gaz d'environ un quart de mètre cube qui a rendu des services, pour les cuissons rapides et qui, entre les mains de M. Chatenet, a donné d'assez jolis reflets métalliques et permis de fixer la température à laquelle ces effets, si délicats à obtenir à coup sûr, peuvent être réalisés.

5° Fabrication de cuves en verre soudé. Soudure du verre. — Ces travaux ont été faits en collaboration avec M. Fabre Domergue, directeur du laboratoire de Pisciculture du Collège de France à Concarneau, dans le but de fabriquer de grands vases ou cuves à faces parallèles, intéressants pour les collections de biologie et d'histoire naturelle, et encore pour les études photographiques.

Ils ont été commencés à l'École des Mines, où j'ai pu réaliser l'émail incolore fondant à une température inférieure à la température de recuit de la glace de Saint-Gobain, et où j'ai fait dans mon moufle à récupération la première cuve exposée en 1900.

Depuis, mon collaborateur a beaucoup perfectionné le procédé qui semble être entré en 1903 dans la phase de production courante, à la glacerie de Saint-Gobain. Les cuves ainsi construites

intéressaient spécialement le Directeur du Musée Océanographique de Monaco récemment ouvert.

6° **Études céramiques diverses.** — Les travaux industriels que j'ai effectués pour le compte des Faïenceries de Vallauris et Nice, auxquelles je suis intéressé, ont porté — sur le *prix de revient* basé sur le volume ou encombrement des pièces pour la cuisson et tous les frais généraux de fabrication, le prix de façon, le poids de la pièce et de son émail. Nous sommes ainsi arrivés par un travail de détail minutieux à des prix de plus en plus voisins de la vérité; — la *décoration par barbotine* et en particulier les camaïeux qui donnent en faïence des décorations très harmonieuses, moins brillantes que les anciens émaux de Vallauris; ce mode de décoration par peinture à la main est, d'ailleurs, très intéressant dans le Midi où les traditions des frescateurs se sont conservées et où la main-d'œuvre artistique est d'un recrutement aisé, facilité encore par l'école professionnelle de dessin que la municipalité a récemment organisée — enfin sur tous les travaux de pratique courante qui, sans produire de résultats exceptionnels, sont d'une connaissance indispensable à l'enseignement céramique.

La fabrication de Vallauris est très variée, comportant comme terres trois qualités courantes, terre blanche ou faïence fine, terre rouge, terre spéciale pour reflets métalliques et comme procédés de décoration la plupart de ceux que la faïencerie possède: émail uni, jaspés, sous émail, peinture en barbotine, camaïeux, émail sur cru, émail sur cuit, majolique au cerné et au tubé, or, reflets métalliques.

En dehors de la poterie artistique, l'industrie des Alpes-Maritimes et les faïenceries Jérôme Massier en particulier produisent tous les articles pour le bâtiment, balustres, chapiteaux, frises, revêtements céramiques.

7° **Poterie culinaire. Émail sans plomb.** — J'ai étudié très complètement la poterie culinaire de Vallauris, au point de vue de son prix de revient, des conditions économiques de sa fabrication et des progrès qu'on pourrait y réaliser, et ai fait de cette étude une récente conférence à la Société d'Encouragement.

J'ai beaucoup travaillé la question très délicate de l'émail sans plomb, et réalisé plusieurs émaux s'appliquant bien et tressaillant peu, sur la terre à poterie de Vallauris, sans engobe et sur biscuit.

A l'heure actuelle, la question de l'émail sans plomb est étudiée par une Société industrielle de Poteries culinaires qui emploie une composition dérivée de l'émail de la Bate, additionnée — sauf vérification que je n'ai pu faire encore — d'un peu d'oxyde d'étain. La composition qui m'a donné les meilleurs résultats est toute différente, elle est à base de lithine ; son seul inconvénient tient au prix élevé de ce fondant alcalin. Mais comme la lithine a un poids atomique faible et possède des qualités de fondant très supérieures à poids égal aux autres alcalis, il n'est pas impossible d'arriver, surtout par l'emploi direct de la pétalité (feldspath lithinique) à une composition industrielle assez économique.

Les émaux que j'ai ainsi étudiés ne contiennent ni plomb ni étain : leur coefficient de dilatation est à peu près identique entre 0 et 100° à celui de la terre de Vallauris : leur température de fusion inférieure à la température critique de la courbe de dilatation de ladite terre : ce sont les conditions nécessaires et qui semblent suffisantes pour l'émail sans plomb.

8° Grands fours de cuisson céramiques. — Parmi les questions qui intéressent le plus la poterie culinaire de Vallauris, celle des fours a une importance toute spéciale ; c'est celle sur laquelle j'ai été consulté par M. le Maire de Vallauris et dont j'ai indiqué la solution la plus complète au cours de la Conférence ci-dessus mentionnée à la Société d'Encouragement.

Le mémoire relatif à cette question, qui intéresse non seulement le cas spécial de Vallauris mais la porcelaine, les grès, la faïence fine, la céramique de bâtiment, est à la veille d'être remis au Comité des Arts chimiques.

Dans cette étude, après avoir défini le problème de la cuisson céramique qui consiste à porter économiquement à une température donnée les produits à cuire, puis à recouvrer toute la chaleur qu'on y a emmagasinée et dont la perte est un véritable gaspillage, je signale la difficulté de ce problème, résultant de la dualité

de la récupération et j'indique les deux solutions possibles réalisant : 1° l'indépendance des deux récupérations ; 2° l'indépendance du grand et du petit feu ; 3° la possibilité de régler l'atmosphère de cuisson pendant le grand feu. La pemière solution est le four-canal, suivant le principe que j'ai déjà décrit ; la seconde est un four fixe à compartiments comparable au four Hoffman, mais remédiant aux défauts très grands que présente le système Hoffman, tant du côté économie que du côté atmosphère du four.

Il y a là une question dont il est facile d'apprécier l'intérêt en observant que la chaleur nécessaire à une cuisson céramique représentée théoriquement par la différence entre la chaleur d'échauffement et la chaleur de refroidissement de la matière crue et cuite est très faible et représente à peine 5 à 10 p. 100 de la chaleur réellement consommée dans les fours actuels.

9° Gazogènes pour combustibles inférieurs. — L'utilisation des combustibles inférieurs préoccupe actuellement l'opinion des ingénieurs, depuis que le gazogène, qui les utilise plus facilement que le foyer de chaudière, tend de plus en plus à concurrencer la force motrice à la vapeur. J'ai envisagé spécialement le cas des combustibles végétaux en vue des forces motrices coloniales et ai publié cette étude annoncée dans mon précédent « Programme et Exposé de titres » dans la *Dépêche coloniale* des 19 et 24 décembre 1904 sous le titre « La Force Motrice aux Colonies ». D'autres études sur les combustibles minéraux les plus inférieurs sont actuellement en cours.

10° Four à plâtre à modeler et blutage du plâtre. Four de gobeletterie. — Parmi les études nombreuses de chauffage industriel que j'ai été conduit à aborder, depuis que j'ai, pendant ces derniers mois, pu reprendre mes applications du chauffage au gaz et des gazogènes, je dois signaler ici une construction très intéressante par sa nouveauté effectuée en collaboration avec M. Sagnier, d'un four à bassin de gobeletterie, à quatre ou six ouvreaux, et l'étude d'une installation d'usine de plâtre à modeler.

L'industrie du plâtre à modeler, toute parisienne, présente des difficultés spéciales de cuisson et de blutage des plâtres cuits

pour arriver à l'homogénéité parfaite. L'emploi de fours à gaz y a donné d'excellents résultats dont j'ai pu me rendre compte grâce à la Compagnie du gaz H. Riché qui a fait cette première installation. L'étude que je poursuis actuellement comprendrait la cuisson, le blutage et la force motrice au gaz pauvre correspondante.

Tels sont les travaux personnels que j'ai effectués au cours des trois étapes de ma carrière scientifique et industrielle.

Je m'y suis étendu un peu longuement, n'ayant pas eu le temps de les publier tous.

Dans cet exposé, je me suis efforcé de faire la part de mon initiative personnelle et la part que je dois à mes maîtres ou collaborateurs. Je crois avoir également précisé celles de mes études qui ont conduit à des résultats certains et quelquefois définitifs, et celles qui laissent encore une incertitude et une place à de nouvelles recherches.

En signalant ainsi certains travaux encore imparfaits, quelques-uns même simplement ébauchés, j'ai voulu montrer quelle place nécessaire tiendraient les travaux de Laboratoire dans l'Enseignement du Conservatoire, j'ai indiqué implicitement, à la suite du programme du Cours, un programme de recherches et études à mettre immédiatement en œuvre et qui en seraient le complément.

Emilio Damour.

15 janvier 1905.
